

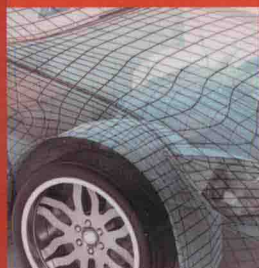
汽车机电一体化 控制系统

应用与解决方案（上）

Automotive Mechatronics Operational and Practical Issues (I)

[波兰] 波格丹·塔德乌什·费雅伍科夫斯基 著
(Bogdan Thaddeus Fijalkowski)
高建平 译

RBW / XBW 整体式一体成型车身或底盘运动机电一体化控制超系统
DBW AWD 驱动机电一体化控制系统
BBW AWB 制动机电一体化控制系统



技术译丛
开发系列

汽车机电一体化 控制系统

应用与解决方案（上）

Automotive Mechatronics
Operational and Practical Issues (I)

[波兰] 波格丹·塔德乌什·费雅伍科夫斯基 著
(Bogdan Thaddeus Fijalkowski)
高建平 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车技术的快速发展,造成了资深的、跨学科的汽车科学家和工程师的缺乏。本书讨论了现代汽车上各种机电一体化控制系统的类型,以及在这种环境中工作的汽车科学家和工程师所需的技能。本书旨在提供汽车机电一体化应用和解决方案,特别强调不同种类汽车系统的方案。

本书可作为研究生教材,也可作为涉及汽车机电一体化控制系统设计任务的研发人员的参考书。

Translation from English language edition:

Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues (I)

by B. T. Fijalkowski.

Copyright © 2011 Springer Netherlands.

Springer Netherlands is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Springer 出版社授权机械工业出版社在中华人民共和国境内地区(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2014-2252号。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机电一体化控制系统:应用与解决方案.上/(波)波格丹·塔德乌什·费雅伍科夫斯基著;高建平译.—北京:机械工业出版社,2017.9

(汽车先进技术译丛·汽车创新与开发系列)

书名原文:Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues (I)

ISBN 978-7-111-57925-0

I. ①汽… II. ①波… ②高… III. ①汽车-机电一体化-控制系统
IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第211328号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何士娟 责任编辑:何士娟

责任校对:杜雨霏 封面设计:鞠杨

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2017年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·30.5印张·2插页·617千字

0 001—1900册

标准书号:ISBN 978-7-111-57925-0

定价:199.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

译者序

随着科学技术的飞速发展和人们对汽车性能要求的不断提高，机械学、流体力学、电力电子学、控制理论、计算机科学、信息技术等越来越多地应用于现代汽车产品，传统机械零部件逐渐被机电一体化控制系统所取代，汽车早已不再是一个单纯的机械产品，而是多学科、跨领域理论和技术协同组合应用的综合体。

波兰克拉科夫工业大学 Bogdan Thaddeus Fijalkowski 教授是汽车机电一体化控制领域的知名专家，是世界电动汽车协会备忘录的签署人，曾入选“世界名人录”和“科学与工程名人录”。B. T. Fijalkowski 教授基于自己多年的研究成果，以及对于汽车行业技术发展前沿的理解和判断，著写了《Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues》。该著作图文并茂，深入浅出，既有对已有理论知识、技术原理和系统结构的全面深入探讨，也有对未来技术发展方向和趋势的科学判断。为了帮助读者全面深入理解相关技术，作者大量引入了先进技术和最新研究成果，并对来自他人的文本、图片、理论、结果和设计一一进行了附注，体现了他高度严谨和务实的学术作风。

我们在高校和企业从事汽车机电一体化控制系统和新能源汽车技术研发工作多年，也曾前往美国和德国访问学习电动汽车技术。在翻译该著作的过程中，除了理解和再现 B. T. Fijalkowski 教授对于汽车机电一体化控制系统的见解外，也融入了团队在相关领域的研究和实践经验，加入我们在这一领域的理解，最终形成本书——《汽车机电一体化控制系统：应用与解决方案》，共上、下两册。

本书（上册）的翻译工作是在机械工业出版社的大力支持下，由河南科技大学的高建平副教授翻译。在此过程中得到了诸多同事的帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

本书是汽车技术领域的专业著作，内容精深，鉴于知识局限性，可能会给译文带来很多不足之处，望广大读者多提宝贵意见。

河南科技大学车辆与交通工程学院
高建平

2017年7月1日

前 言

本书旨在提出汽车机电一体化之工作和实践方案，特别强调不同种类汽车系统的方案。

本书可作为研究生教材，也可作为涉及汽车机电一体化控制系统设计任务的研究人员的参考书。

汽车技术的快速发展，造成了资深的、跨学科的汽车科学家和工程师的缺乏。本书讨论了现代汽车上各种机电一体化控制系统的类型，以及在这种环境中工作的汽车科学家和工程师所需的技能。

《汽车机电一体化控制系统：应用与解决方案》旨在提高汽车机电一体化的教育并强调对学生实验动手能力的培养。作者希望本书能促进和提高高等教育机构教学计划中的学生实验动手能力，并由此培养出更多汽车机电一体化和自动化的工程师。

内容：

* 上册

● 第1章：RBW/XBW 整体式一体成型车身或底盘运动机电一体化控制系统。

● 第2章：DBW AWD 驱动机电一体化控制系统。

● 第3章：BBW AWB 制动机电一体化控制系统。

* 下册

● 第1章：SBW AWS 转向机电一体化控制系统。

● 第2章：ABW AWA 悬架机电一体化控制系统。

本书既适用于大学本科生和研究生，也适用于涉及与汽车动力学、制动器、转向装置以及减振器（阻尼器）有关的各个学科的专业人员。阅读本书，需要具备大学数学、大学物理学的基本知识，同时还需要具备有关汽车驱动、制动、转向和悬架系统等方面的基本知识。

对于刚接触 RBW 或 XBW 一体成型车身、分离式底盘（space - chassis）、滑板式底盘（skateboard - chassis）或整体式底盘（body - over - chassis）运动机电一体化控制系统的读者，可以从大多数教材中获益良多。本书不要求读者必须具备 DBW AWD 驱动、BBW AWB 制动、SBW AWS 转向以及 ABW AWA 悬架机电一体化控制系统的基本背景或知识。此外，出于所有权的考虑，本书没有详细说明算法设计、算法性能分析或算法应用。

作为本书唯一的作者，除非特别说明，书中包含的所有内容均为本人自己的构

思。出于对原著者的感谢，本书对任何非本人原创的文本、图片、理论、结果和设计等均进行了附注。对于所有参考文献及帮助材料，本书都给予了致谢。

本书中所有信息的获得和介绍均符合学术规则和道德行为准则。在满足这些规则和行为准则的前提下，我也郑重声明：对于非本书原创的所有资料 and 结果均注明了出处。

在此向 Spiros Tzafestas 教授致以我最衷心的感谢，感谢他在本书编写中对智能系统、控制、自动化 (ISCA)、科学和工程系列图书的关注。同时，也要对 Nathalie Jacobs 女士和 Johanna F. A 女士表达谢意，正是由于她们的坚持才使本书得以完成。

在本书写作过程中，引用了众多作者的相关内容，我从中受益良多，在此感谢他们！对于在本书中有间接贡献的国内外同行，一并感谢！

还要特别向以下组织和机构表示感谢：ABIresearch, ABResearch, ACURE Dynamics, ADAMS, ADVISOR, ADwin, 德国通用电气公司 (AEG), 美国空军研究实验室 (AFRL), AIRMATIC, AirRock, AKA Bose 公司, AMESim, AMI Semiconductor, AMT, AMTIAC, AR&C, ARQQ Ltd., 奥迪股份公司, AUDIAG, AutoPro, AUTOSAR, AUTOTECH, Avio Pro, AVL, Bertone, BizWire, Bobbs - Merrill 公司, BMW, BOSCH 公司, Bridgestone 公司, Cadillac, CAFS, California Linear Devices, 卡内基梅隆大学, Centro Recherche FIAT, CFC, Challenge Bibendum, Chalmers University of Technology (查尔默斯技术大学), Climatronic, Cleveland State University (克利夫兰州立大学), Cracow University of Technology (克拉科夫工业大学), Continental TEVES 公司, Cosc/Psych, CRL, Chrysler, Daimler - Benz, DaimlerChrysler 公司, D&R, DAS, DECOMSYS, Delco Electronics, Delco - Remy, Delphi, Delft 系统和控制中心, DJH, DLR RoboDrive, DRDC, dSPACE 公司, Dynamic Structure & Materials LLC, Energen 公司, ERFD, ER Fluid Developments Ltd. UK, eSTOP 公司, FAA US DoT (美国运输部联邦航空局), FACE International Corp., FHWA - MC Fiat, Fichtel & Sachs, FlexRay Consortium, FMA, FortuneCity, FPDA, US DoT (美国运输部), 福特欧洲公司, 福特汽车公司, 福特 SRL, 飞思卡尔半导体公司, 富士微电子公司 (FMA), 日本富士通公司 (FUJITSU), GM Chevrolet, GM Opel, 通用汽车公司, 德国航空航天中心 (DLE e. V.), Gothorum Carolinae Sigillium Universita, Graz University of Technology (TUG, 格拉茨工业大学), Haskell, 日立公司 (Hitachi Co.), 本田汽车公司 (Honda), How Stuff Works, Hunter, I - CAR, IEC, IEEE, IMechE, Intel, Institute of Robotics and Mechatronics, Intelligent Transportation Society (ITS), ISO, IPC website, IPG 汽车股份有限公司, Istanbul technical University (伊斯坦布尔技术大学), Jäger 公司, JB, JUST - AUTO.COM, Kalmar, Kinetic Suspension Technology, Lexus, Kungl. Tekniska Högskolan (KTH, 瑞典皇家工学院), Land Rover, Lord, Lotus Engineering, Lund Institute of Technology (隆德理

工学院), MagnetiMarelli, Magnet Motor, Mazda, McCormick, Mechanical Dynamics 公司, Mecel, Messier - Bugatti, MICHELIN, MILLENWORKS, MIT Hatsoupulos Microfluid 实验室, 三菱公司, MOST Net - services, MOTOROLA, NI, 美国航空航天局兰利研究中心 (NASA Langley Research Center), 美国国家公路交通安全管理局 (NHTSA), Nissan, Office of Naval Research (ONR, 美国海军研究局), Norwegian University of Science and Technology (挪威科技大学), Oldhams 公司, OSEK - WORKS, Packard, PACIFICA Group Technologies Pty Ltd., PHILIPS, PITechnology, Polski FIAT, Porsche, 标致雪铁龙公司, Purdue 工程技术学院, SAAB, SAE, Scania, Sensormag, 西门子 VDO 汽车公司, SKF, Star, Studebaker, Subaru, Radatec 公司, 美国西南研究院 (SwRI), Racelogic, Radatec 公司, Renault, Research Team for Technology (CARAMELS), Ricardo, RMSV, Robert Bosch 公司, Rodmillen, SCANIA, Seoul National University (首尔大学), TACOM TARDEC, Technische Universität Darmstadt (达姆施塔特科技大学), Universität Koblenz (科布伦茨大学), Universität Regensburg (雷根斯堡大学), TENNECO Automotive, The Motor Industry Research Association (MIRA, 英国汽车工业研究所), The New York Times (纽约时报), The University of Michigan (密歇根大学), Toyota, TRIDEC, Triumph, TRW 汽车公司, TTPbuild, TTPnode, TTTech Computertechnik AG, Università 'di Bologna (意大利博洛尼亚大学), Universität Salzburg (萨尔茨堡大学), University of California Berkeley (加州大学伯克利分校), University of Leicester (莱斯特大学), University of Limerick (利默里克大学), University of Pennsylvania (宾夕法尼亚大学), University of Queensland (昆士兰大学), University of Sussex (苏塞克斯大学), University of Texas at Austin (德克萨斯大学奥斯汀分校), University of York (UK) (英国约克大学), Uppsala University (乌普萨拉大学), US Army Research Office (美国陆军研究办公室), US DLA (美国国防后勤局), US DoD (美国国防部), US DoE (美国能源部), UT - GEM, Valentin Technologies 公司, Valeo, Van Doorne Transmissie BV, VCT, Vienna Institute of Technology (维也纳技术学院), VOLKSWAGEN (VM, 德国大众汽车), VOLVO, Wongkwang University (韩国圆光大学), ZF Sachs AG, 以及 XILINX 等。本书中包含了来自上述组织和机构的文字、图片或设计, 这归功于他们的权威, 同时也为了介绍他们在当代汽车机电一体化领域中所取得的成就。

本书中还包含很多汽车行业技术发展前沿的信息, 在表述中采用了诸如“也许”“将会”“估计”“趋势”“预料”“期望”等措辞, 或者类似的措辞。这些表述基于欧洲、美洲及亚太国家技术发展, 特别是汽车工业技术发展的设想。基于本人的认知, 我认为在本书付梓之际它们将会实现。

但上述估计也暗含了一定程度的风险, 实际的技术发展可能与上述预设大相径庭。如果任何上述表述所基于的假设被证明有误, 那么实际的结果可能会有着本质

的不同。

本人没有对前瞻性表述进行实时更新。上述表述在本书付梓之日可能被更新了，但仍具有较大参考价值。

本书是利用业余时间编写的，付出了许多个周末和假日，在此亦将本书献给我的家人，感谢他们一直以来的鼓励、无微不至的照顾和帮助，以及无限的耐心。正是由于他们自始至终对我充分的理解，才使本书出版成为可能。

Bogdan Thaddeus Fijalkowski

2010年9月于 Cracow (波兰克拉科夫)

目 录

译者序

前 言

第 1 章 RBW/XBW 整体式一体成型车身或底盘运动

机电一体化控制超系统	1
1.1 引言	1
1.2 整体式一体成型车身或底盘运动先进技术路线图	15
1.3 RBW 或 XBW 基本原理	19
1.4 利用能量和信息网络	38
1.4.1 概述	38
1.4.2 SAE 车载能量和信息网络的种类	40
1.4.3 可扩展的模块化架构	41
1.4.4 光纤技术	42
1.4.5 无线技术	43
1.4.6 结论	44
1.5 局域互联网络	44
1.6 SAE J1850 协议	47
1.7 IEEE 1394 协议	49
1.8 控制器局域网络	50
1.8.1 概述	50
1.8.2 CAN 仲裁	51
1.8.3 CAN 检错	51
1.8.4 CAN 架构	51
1.9 基于时间触发的控制器局域网络	52
1.10 多媒体定向系统传输 (MOST) 网络	55
1.11 FlexRay™ RBW 或 XBW 网络	57
1.12 dSPACE RBW 或 XBW 网络	64
1.13 DBW 4WD × BBW 4WB × SBW 4WS × ABW 4WA 智能车辆	66
1.14 单个 DBW AWD、BBW AWB、SBW AWS 和 ABW AWA 控制装置间 RBW 或 XBW 整体式一体成型车身或底盘运动机电一体化控制的用途	71
1.14.1 概述	71
1.14.2 三模混合 SBW 4WS 转向机电一体化控制系统	74
1.14.3 预测性和自适应、半主动 ABW 4WA 悬架机电一体化控制系统	76
1.14.4 串联型混合动力 DBW 4WD 驱动机电一体化控制系统	78
1.14.5 防抱死和防滑 BBW 4WB 制动机电一体化控制系统	81

1.14.6 结论	82
1.15 讨论和总结	83
术语表(英文解释)	89
参考文献	95
第2章 DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	112
2.1 引言	112
2.1.1 发动机电子控制系统	126
2.1.2 主动发动机电子控制系统	137
2.2 汽车行驶性能	166
2.2.1 概述	166
2.2.2 集中质量	167
2.2.3 欧拉角	167
2.2.4 力和转动惯性矩	168
2.2.5 汽车固定坐标系	168
2.2.6 运动变量	168
2.2.7 公路/越野路面固定坐标系	168
2.2.8 牛顿第二定律	169
2.2.9 动态轴载荷	170
2.2.10 影响车轮驱动力的力	171
2.3 传统汽车的 M-M DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	174
2.4 传统汽车的 M-M 变速器装置需求	185
2.4.1 概述	185
2.4.2 M-M DBW AWD 驱动机电一体化控制系统的经典 M-M 变速器装置需求	192
2.4.3 M-M 离合器	195
2.4.4 M-M 变速器	196
2.4.5 M-M DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的前置 ECE/ICE、M-M 离合器、 MT/SAT/FAT/CVT 和传动轴式 M-M 变速器装置	199
2.4.6 M-M DBW 4WD 驱动机电一体化控制系统的前置 ECE/ICE、M-M 离合器、 MT/SAT/FAT/CVT 和传动轴式 M-M 变速器装置	200
2.4.7 M-M DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的后置 ECE/ICE、M-M 离合器、 MT/SAT/FAT/CVT 和传动轴式 M-M 变速器装置	205
2.4.8 M-M DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的定轴式和无轴式变速器装置	207
2.5 全流体车辆的 F-M DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	210
2.5.1 概述	210
2.5.2 F-M DBW AWD 驱动机电一体化控制系统的流体静压型 F-M 变速器装置	213
2.5.3 结论	217
2.6 混合流体车辆的 ECE/ICE HF DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	218
2.6.1 概述	218

2.6.2 结论	226
2.7 纯电动车的 E-M DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	227
2.7.1 概述	227
2.7.2 E-M DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的 E-M 变速器装置	231
2.7.3 E-M DBW 2WD 和/或 4WD 驱动机电一体化控制系统的 E-M 变速器装置	233
2.7.4 结论	246
2.8 混合动力汽车的 ECE/ICE HE DBW AWD 驱动机电一体化控制系统	246
2.8.1 概述	246
2.8.2 HE DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的串联式 HE 变速器装置	251
2.8.3 HE DBW 4WD 驱动机电一体化控制系统的串联式 HE 变速器装置	252
2.8.4 HE DBW 2WD 和/或 4WD 驱动机电一体化控制系统的 串联式 HE 变速器装置	254
2.8.5 HE DBW 6WD 或 8WD 驱动机电一体化控制系统的串联式 HE 变速器装置	262
2.8.6 HE DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的并联式 HE 变速器装置	265
2.8.7 HE DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的串联/并联式 HE 变速器装置	268
2.8.8 HE DBW AWD 驱动机电一体化控制系统的 TTR HE 变速器装置	274
2.8.9 结论	282
2.9 燃料电池电动汽车的驱动机电一体化控制系统	286
2.9.1 概述	286
2.9.2 HE DBW 2WD 驱动机电一体化控制系统的 FC HE 变速器装置	292
2.9.3 结论	299
2.10 讨论和总结	301
术语表 (英文解释)	309
参考文献	315
第3章 BBW AWB 制动机电一体化控制系统	332
3.1 引言	332
3.1.1 汽车的安全系统	333
3.1.2 电传线控制制动 (BBW) 全轮制动 (AWB) 制动	341
3.2 汽车的 BBW AWB 制动	343
3.2.1 BBW AWB 制动的要求	347
3.2.2 使用 BBW AWB 制动的理由	347
3.3 汽车制动基础	348
3.3.1 轮胎至公路/越野交界面	348
3.3.2 制动中的汽车动力学	350
3.3.3 汽车的制动力	354
3.3.4 BBW AWB 制动机电一体化控制系统的组件	356
3.4 BBW AWB 制动机电一体化控制系统	361
3.5 防抱死 EFMB 或 EPMB BBW AWB 制动机电一体化控制系统	370

3.5.1	防抱死制动系统简介	370
3.5.2	ABS 组件描述和操作	373
3.5.3	防抱死 EFMB 或 EPMB BBW AWB 制动	376
3.5.4	防抱死 BBW AWB 制动机电一体化控制系统的目标	391
3.5.5	防抱死 BBW AWB 制动机电一体化控制系统的组件	392
3.5.6	ABW BBW 制动机电一体化控制系统的安全考虑	393
3.5.7	防抱死控制逻辑基础	396
3.5.8	防抱死 BBW AWB 制动机电一体化控制系统的测试	398
3.6	增强型防抱死和防滑 BBW AWB 制动机电一体化控制系统	398
3.7	增强型自适应巡航 BBW AWB 制动机电一体化控制系统	403
3.7.1	流体机械化	405
3.7.2	ACC 功能和实现基础	405
3.7.3	起停装置	407
3.8	BBW AWB 先进技术	408
3.9	机电摩擦盘式、环式和鼓式制动器	422
3.9.1	摩擦盘式和环式机电制动器	425
3.9.2	机电摩擦鼓式制动器	428
3.10	未来的汽车 BBW AWB 制动系统	431
3.11	讨论和总结	437
	术语表 (英文解释)	443
	参考文献	451
	缩略词	465

第1章 RBW/XBW 整体式一体成型车身或 底盘运动机电一体化控制超系统

1.1 引言

为了获得更好的车辆性能和安全，一辆汽车中包含的主动汽车机电一体化控制系统的数量正在快速上升。这些机电一体化控制系统基于一种以集成机电一体化为基础的人工智能 (artificial intelligence, AI) 系统方法【FIJALKOWSK 1987】，主要是影响汽车一体成型车身和底盘运动的汽车机电一体化控制系统。如今，防抱死制动系统 (ABS) 及电子稳定性程序 (ESP) 算是汽车的标配。在不远的将来，可以预计汽车会装备新兴的、先进的机电控制系统，比如，一个整体式一体成型车身或底盘运动机电一体化控制超系统。通常，这种系统会被分解成纵向 x 轴 (侧倾, roll)，横向 y 轴 (俯仰, pitch) 及垂直 z 轴 (横摆, yaw) 机电一体化控制系统，包括电传线控驾驶 (drive-by-wire, DBW)、全轮驱动 (all-wheel-driven, AWD) 机电一体化控制系统和电传线控制动 (brake-by-wire, BBW)、全轮制动 (all-wheel-braked, AWB) 机电一体化控制系统；电传线控转向 (steer-by-wire, SBW)、全轮转向 (all-wheel-steered, AWS) 机电一体化控制系统；以及电传线控减振 (absorb-by-wire, ABW)、全轮减振 (all-wheel-absorbed, AWA) 悬架机电控制系统。到目前为止，这些新兴的机电控制系统在应用时是独立控制的。然而，很显然它们之间存在强耦合，这些耦合来自橡胶轮胎。因此，如果不予考虑，则不希望出现的耦合效应会造成严重的性能损失。但是，采用一种好的机电一体化控制策略，在达到绝对最优时会把耦合考虑在内。

整体式一体成型车身 (integrated unibody)、space-chassis、skateboard-chassis 或 body-over-chassis 运动机电一体化控制的挑战在于，把汽车连同全部的传感器和执行机构作为一个整体看待，而不是多套传感器-执行机构的组合。

目前，汽车工程师和科学家意图整合和优化控制所有这些车身或底盘的主动式机电一体化控制系统，以让汽车行为更加稳定和可预测，同时也对这些特性进行增强：操纵性能和行驶平稳性、抗扰性、操控性 (在摩擦极限时) 以及舒适性。而且，研究车轮力传感对机电一体化控制的价值也是有趣的。最重要的是，有望大大提高鲁棒性，以对抗大的车轮/公路-越野路的不确定性。

研究整体式一体成型车身、space-chassis、skateboard-chassis 或者 body-over-chassis 的运动动力学，【GERARD 2008】看到明显有两层：整体式车身、space-

chassis、skateboard - chassis 或 body - over - chassis 层，以及车轮层。

整体式车身、space - chassis、skateboard - chassis 或 body - over - chassis 的运动是相当慢的，也是线性的；而轮胎动力学则是更快、更具非线性和不确定性。因此，一种整体式一体成型车身、space - chassis、skateboard - chassis 或 body - over - chassis 运动机电一体化控制器会采用分层架构来开发。

这种控制器会将整体式车身或底盘的运动与一个期望的参考模型匹配，加强舒适性和安全性，同时考虑到动作限制，会将控制动作分配到不同的汽车机电一体化控制系统。而且，本地汽车机电一体化控制器会应用设定值，补偿车轮/公路 - 越野路不确定因素，并估计驱动限制。

在【GERARD 2008】中，不同开发阶段使用了三种测试环境来测试系统方法。首先，一个精确的多体车辆物理模型（Modelica - Dymol[®]）用于离线（off - line）仿真。为了进一步获得驾驶人对某种控制策略的反应，代尔夫特系统控制中心（Delft Center for Systems and Control, DCSC）正在开发一种运动平台汽车模拟器【GERARD 2008】。借助一个与动态过滤器和可视屏结合的实时车辆物理模型，驾驶人会获得坐在汽车内的感觉并与控制器交互。通过在一辆完全开动的实车中的测试，应该能得出结论。每个汽车机电一体化控制系统越复杂和特别，可能有能力开发这些系统的厂家数量就越少。

为了提高汽车的驾驶、制动、减振和转向等基本功能，汽车科学家和工程师可以使用整体式一体成型车身、space - chassis、skateboard - chassis 或 body - over - chassis 运动驱动技术，也可能正在进行线控驱动（ride - by - wire, RBW）整体式一体成型车身、space - chassis、skateboard - chassis 或 body - over - chassis 运动机电一体化控制先进技术的开发，RBW 也称为 XBW（x - by - wire）。

一辆汽车的上部或者中心部分被称为汽车的“车身”，类似的定义有机身或者船身。在制造过程中车身与底盘弹性连接。

汽车的下部或者车架被称为汽车的“底盘”。大多数的设计使用一种冲压钢或铝制矩形构架形成一个框架，汽车的其他部分安装于框架上。刚性车架连同车轮、传动系、制动系、减振器和转向系等构成了底盘。汽车车身和底盘的结合部件吸收传动系组件运动时的反作用力，同时在加速（驾驶中）和/或减速（制动中）接收反作用力和/或车轮转矩，通过悬架吸收气动风力和路面颠簸，也在交通事故发生时吸收主要的冲击能量。

汽车底盘由汽车车架和与它连接的所有组件构成，但不包括车身在内。

“Body - over - chassis”结构允许底盘部件和车身固定在车架上。因此，在这种结构中车身固定在一块厚钢架上。在 20 世纪的后 50 年间，大量制造模型都采用高强度钢或铝材（或单体式铝材）车架 monocoque 或 unibody。

一体成型车身结构（Unibody）是一种无需一个独立车架来保证汽车机械部件安全结构强度或支撑的车体构造形式，这种结构也称为“成套式的”（unitized）或

“一体式的” (unitary)。这种结构集成了除车身外板 (bolted on body) 外的其他所有部件。如果一辆汽车有一个独立车架, 则底盘指的是车架。整体式车身构造是一种相关的汽车制造技术——车身与底盘一起集成为单个部件, 而不是有一个单独的底盘上方的车身 (body-over-chassis)。点焊“一体成型车身”现在已成为主要的汽车制造技术, 但有些车辆 (特别是货车) 仍然使用 body-over-chassis 技术。高强度钢和铝 (其实是硬铝合金) 减少了车辆的质量, 也在改进拉伸刚度的同时增强了安全性。一体成型车身 (unibody, unitized) 构造中金属板车身板件焊接在一起形成车身和车架。因此, 车架是车身的一个组成部件。与那种陈旧的车身固定在车架上的技术相比, 一体式或整体式车辆较为便宜, 同时更加结实。汽车市场的产品生命周期更新和不断提高的燃油效率需求, 正在刺激汽车厂家在主流制造中考虑其他车身构造方法, 例如, “space-chassis” 或 “space-frames” 结构, 即独立车身和板件结构 (independent body and panels, IBP)。

“space-chassis” 结构允许汽车的载荷撞击结构与外部板件分开。这些板件能被离线准备和喷漆, 或者使用其他诸如热塑彩色注模的方法来加工。这种方法促使一些汽车生产商开发了新技术, 并减少了传统喷漆作业等对环境的影响。

在 “skateboard-chassis” 结构中, DBW AWD 驱动系统安装在内部; 车轮上的轮毂内 E-M/M-E 电动机/发电机在驾驶 (加速) 时启动 DBW AWD 驱动, 在制动 (减速) 时启动 BBW AWB 制动, 同时通过 SBW AWS 转向进行操控, 四个电动机械式车身安装座将车身锁定在滑板之上; 预先配置并经验证的外围结构碰撞区; 外部侧装的优化散热片; 一个智能单通道对接端口将电力、控制、加热/制冷系统从滑板连接至车身; 有一个燃料加注口加氢, 还有一个排放口将水以蒸汽形式排出。所有参与驱动和/或制动转矩的产生、传送和分配, 使之最后到达车轮的汽车组件, 被称为动力系统或动力传动系统。

动力系包含将初级化学和/或物理 (机械、电、液动、气动) 甚至核能转换成次级机械能, 并将机械能传递至车轮的所有零部件。

因此, 在汽车中, 动力系统或动力传动系统指的是产生动力并将动力传递至公路/越野路面的零部件组。动力系统是汽车中将发动机, 即化学-热-流体-机械 (CH-TH-F-M) 式内燃机 (ICE)/外燃机 (ECE)、电机/机电 (E-M/M-E) 式电动机/发电机、流体-机械/机械-流体式马达/泵或者气动-机械/机械-气动 (P-M/M-P) 式马达/压缩机, 与传动或驱动轴相连的部件, 部件可能包括机械-机械 (M-M) 式、电机 (E-M) 式、流体-机械 (F-M) 式或气动-机械 (P-M) 式驱动轴、离合器、变速器和差速器, 以及主传动 (传动轮、履带、传动等), 还包括尾气处理系统和用来控制传动系的软硬件。

有时, 动力系统也用来指 CH-TH-F-M ICE/ECE、E-M/M-E 电动机/发电机、F-M/M-F 马达/泵或者 P-M/M-P 马达/压缩机和 M-M、E-M、F-M、或 P-M 变速器, 也包括 M-M、E-M、F-M 或 P-M 变速器中不可或缺的

一部分的其他零部件。

现代动力系可分为四个主要的部分：

- 原动机，即 ICE/ECE：传动系中最明显也可能是最重要的部件是 ICE/ECE，ICE/ECE 提供汽车运动的动力；传统的动力系统有汽油机或柴油机；存在装有两个 ICE/ECE 的传动系，称为混合动力传动系，这种传动系必须有复合传动系统来让两个原动机适时输入动力；同时，原动机与 E - M/M - E 电动机/发电机、F - M/M - F 马达/泵或者 P - M/M - P 马达/压缩机搭配使用，则可形成另外的动力供给结构。
- M - M、E - M、F - M 或 P - M 变速器：这可能是将动力传递至车轮的第二个主要部件了。它可以改变原动机动力输出的转矩和速度，一般使用一系列不同比率的齿轮来完成。例如，M - M 差速器包括 M - M 驱动杆和驱动轴，以及将动力直接传递至车轮的任何其他部件。
- 尾气处理系统：对汽车的排放性能大有影响，也对原动机效率很重要，因为大部分能量通过尾气浪费了。大多数排气系统有一个催化式排气净化器和一个净化尾气的专门捕集装置。尾气处理系统也可能包含增压器，以设法利用部分尾气中消耗的能量。
- 用来控制传动系统的硬件和软件：即控制传动系中各种因素，以使效率最大化的软硬件。

在一辆汽车中，driveline（驱动系）指的是动力系或传动系的零部件，但不包括 CH - TH - M ICE/ECE、E - M/M - E 发动机/发电机、F - M/M - F 发动机/泵，或者 P - M/M - P 发动机/压缩机及 M - M、E - M、F - M 或 P - M 变速器。它也是汽车上 M - M、E - M、F - M 或 P - M 变速器后面连接的部分，具体取决于该辆汽车是前驱（front - wheel - drive, FWD）、后驱（rear - wheel - drive, RWD），还是四轮驱动（four - wheel - drive, 4WD）。

制动器是一种使汽车车轮转动减慢或停止的摩擦机构，车轮附着摩擦力使汽车减速或停止。

转向装置的作用是控制汽车的方向，包括齿轮系和连杆。

减振器（阻尼器）是弹簧、缓冲器或者弹簧和缓冲器的组合。减振器可最小化一个机械装置或它的框架和支架部分质量的加速度/减速度。

术语 RWB，也叫 XBW，是指通过机电一体化实践的一辆汽车的“机械学”“电学”和/或“应用流体学”的应用。

机械学是应用运动及力或转矩传输机械能与信号的科学和技术。

电学是应用电及电流或电压传输电能与信号的科学和技术。

应用流体学是应用某种流体或可压缩介质传输流动能与信号的科学和技术。基于流体动力学的理论基础，应用流体学分为水力学和气体力学。

本书中，在使用某种液体而不是水作为耐火液体的情况下，作者没有使用术语

“hydraulics”（水力学），而是使用了“fluidics”（流体力学）。

水力学研究水在管道、河流渠道中的流动，以及它们被水坝和蓄水池阻挡之类的问题。

气体力学研究流体为某种气体或空气时在封闭机电一体化控制系统中的流体静力学及其行为。

机电一体化是研究精密机械、电子学、AI（人工智能）系统方法的协同组合应用的科学和技术。

汽车机电一体化指代物理学的协同应用，即应用机械学、流体力学（水力学或气动力学）、电学、电子学、全部控制理论、计算机科学、传感器和执行机构技术来设计改进的汽车产品和生成制造（图 1-1）【WASHINO 2000；BALSI 2006；KOOPMAN 2007】。

汽车中机电一体化的复杂性正在增加。例如，戴姆勒-克莱斯勒公司（Daimler Chrysler）的梅赛德斯 S 级（图 1-1）使用了至少 70 个联网的电子控制单元（ECU）；而在 10 年前，大多数汽车只有 3 个 ECU。卡特彼勒（Caterpillar）797（图 1-2）使用一个分布式嵌入式系统【KOPETZ 2001】。该分布式嵌入系统有 195 个传感器和执行机构，另有无线数据链路【KOOPMAN 2007】。

本节的目的是给有兴趣的读者介绍汽车中与安全相关的容错（FT）机电一体化控制系统的背景资料，这些机电一体化控制系统无机机械备份，被称为 RBW 或 XBW 一体化车身、space - chassis、skateboard - chassis 或者 body - over - chassis 运动机电一体化超系统。

RBW 或 XBW 中的“R”或“X”分别表示任何安全相关容错系统（FT）纵向 x 轴（侧倾）、横向 y 轴（俯仰）及垂直 z 轴（横摆）机电一体化控制系统应用的基础，比如 DBW AWD 驱动和 BBW AWB 制动、SBW AWS 转向以及 ABW AWA 悬架机电控制系统（图 1-3）。

通过将驾驶人从日常任务中解脱出来，并帮助他们在紧急情况时找到解决方案——这些应用可大大增加整车安全性。高度复杂的未来车辆应用，如驾驶辅助或自动驾驶系统，促成了动态驾驶的计算机化机电一体化控制。这需要对驾驶人意图进行恰当的检测和解释，以便正确估计驾驶情况和环境影响。这种要求不得不被解释成驱动（加速）、制动（减速）以及方向操纵。

在现代汽车工业中，传统构造类型的机械零部件日益被机电一体化控制系统所取代。这些机电一体化控制系统在控制和主动式元件之间没有直接的机械连接。这种 RBW 或 XBW 先进技术最初源自航天航空技术，它们有着一系列可能的应用，例如带制动、转向以及弹簧系统的机电一体化控制的齿轮【MÜLLER 2002】等。

不同于传统的汽车机电一体化控制系统，在 RBW 或 XBW 技术中，诸如让车轮“制动”或“转向”等驾驶人命令不使用机械零件传到主动式元件，而是仅仅依靠连线数据传输。这些技术包括：DBW AWD 驱动及 BBW AWB 制动，SBW